

APPLICATION UNDER UNITED STATES PATENT LAWS

Atty. Dkt. No. 061069-0309367

Invention: IMAGE OPTICAL SYSTEM AND APPARATUS USING THE SAME

Inventor (s): Takahiro AMANAI

Address communications to the
correspondence address
associated with our Customer No

00909

Pillsbury Winthrop LLP

This is a:

- ☐ Provisional Application
- ☒ Regular Utility Application
- ☐ Continuing Application
 - ☐ The contents of the parent are incorporated by reference
- ☐ PCT National Phase Application
- ☐ Design Application
- ☐ Reissue Application
- ☐ Plant Application
- ☐ Substitute Specification
 - Sub. Spec Filed _____
 - in App. No. _____ / _____
- ☐ Marked up Specification re
 - Sub. Spec. filed _____
 - In App. No _____ / _____

SPECIFICATION

結像光学系及びそれを用いた装置

Imaging Optical System And Apparatus Using The Same

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the Invention

本発明はＣＣＤやＣＭＯＳなどの固体撮像素子等と組み合わせて用いられる結像光学系、例えば、デジタルスチルカメラ、デジタルビデオカメラ、携帯電話やパソコン等に関するものである。また、この結像光学系を用いた、デジタルスチルカメラ、デジタルビデオカメラ、携帯電話やパソコン等の電子機器に関する。

2. Description of the Related Art

近年、銀塩フィルムに代わり、ＣＣＤやＣＭＯＳのような固体撮像素子を用いて被写体を撮影するようにした電子カメラが普及してきている。このような電子カメラのうち、携帯型コンピュータや携帯電話等に搭載される撮像ユニットでは特に小型、軽量化が求められている。

SUMMARY OF THE INVENTION

本発明による結像光学系は、物体側から順に、第１レンズとしての物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズと、明るさ絞りと、第２レンズとしての像側に凸面を向けたメニスカスレンズと、第３レンズとしての像側に凸面を向けた正メニスカスレンズと、第４レンズとしての負レンズを配置して構成されている。

また、本発明の電子機器は、上記結像光学系を備えている。

本発明によれば、製造誤差に対する性能劣化が少なく、小型化しても高性能な結像光学系を得ることができる。また、小型化しても高性能な電子機器を得ることができる。

These and other features and advantages of the present invention will

become apparent from the following detailed description of the preferred embodiments when taken in conjunction with the accompanying drawings.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

図 1 は、本発明の結像光学系の第 1 実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図 2 A、2 B 及び 2 C は、第 1 実施例にかかる結像光学系の球面収差、非点収差及び歪曲収差をそれぞれ示す図である。

図 3 は、本発明の結像光学系の第 2 実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図 4 A、4 B 及び 4 C は、第 2 実施例にかかる結像光学系の球面収差、非点収差及び歪曲収差をそれぞれ示す図である。

図 5 は、本発明の結像光学系の第 3 実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図 6 A、6 B 及び 6 C は、第 3 実施例にかかる結像光学系の球面収差、非点収差及び歪曲収差をそれぞれ示す図である。

図 7 は、本発明の結像光学系の第 4 実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図 8 A、8 B 及び 8 C は、第 4 実施例にかかる結像光学系の球面収差、非点収差及び歪曲収差をそれぞれ示す図である。

図 9 A 及び 9 B は、本発明の結像光学系を用いたデジタルカメラの概略構成を示す前側斜視図及び後側斜視図である。

図 10 A 及び 10 B は、本発明の結像光学系を用いた携帯電話の概略構成を示す正面図及び側面図である。

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

実施例の説明に先立ち、本発明のように構成した理由及び本発明の作用効果について説明する。

まず、結像光学系を構成するレンズ枚数について説明する。本発明の結像光学系は、性能と小型化を考慮して、上記のような第 1、第 2、第 3、

第4レンズの4枚レンズで構成した。ここで、結像光学系を構成するレンズの枚数を5枚以上にすれば、さらに性能が向上するのは明らかである。しかしながら、レンズが1枚増えると、レンズの厚さ、レンズの間隔、枠のスペースがその分増大し、光学系が大型化するのは避けられない。

また、本明細書の従来技術において述べたように、結像光学系を2枚以下のレンズで構成したのでは、軸上色収差の低減と像面湾曲の低減との両立が困難である。仮に、非球面を多用して性能を確保したとしても、偏心感度が大きくなり、製造上困難である。従って、本発明のように、結像光学系を4枚のレンズで構成するのが性能、大きさともに最適である。

次に、結像光学系を用いる装置に、例えばCCDのような撮像素子を用いたとする。この場合、良好な集光性能を維持するためには、撮像素子への光線入射角度を小さくする必要がある。そこで、明るさ絞りを、像面から遠い位置に配置することが望ましい。あるいは明るさ絞りの像を、像面から遠い形成することが望ましい。

また、広角な光学系においては、画面周辺部のディストーション及び倍率色収差の発生を低減させる必要がある。そのためには、光学系のパワー配置が対称になる位置に、明るさ絞りを配置させることが望ましい。

上記二つの理由から、本発明の結像光学系では、上記のように明るさ絞りの位置を第1レンズと第2レンズとの間に配置した。すなわち、本発明の結像光学系は、広角とテレセントリック性を重視した光学系として構成されている。

また、本発明では、第1レンズを、物体側に正パワーの強い曲面を持つ、メニスカスレンズとした。このようにすると、第1レンズの主点位置を物体側に移動させることができ、全長短縮に有利となる。

また、本発明の結像光学系では、第1レンズを物体側に凸面を向けた正パワーを有するメニスカスレンズで、第2レンズ、第3レンズをともに像側に凸面を向けたメニスカスレンズで構成した。このように構成すれば、入射光線と射出光線とのなす角度、すなわち偏角を小さく保つことができ、各屈折面における収差の発生量を極力小さくすることができる。また、無

偏心時における収差の発生量が小さいため、レンズの相対偏心時における性能変動についても極力小さくすることが可能となる。

上述のように、本発明の結像光学系では、光学系の全長を小さくするために、第4レンズを負パワーのパワー配置として構成した。しかし、広角系において、最も像側のレンズが負パワーであると、次のような不都合が生じる。例えば、シェーディングを避けるために、入射角度が限定されるようなCCDを撮像素子として用いたとする。この場合、光線高が高い位置で、光線入射角度を小さくすることが出来なくなる。

そこで、最も像面側のレンズにおいて、少なくとも1面を非球面とする。そして、レンズ中心のパワーは負であっても、レンズ周辺のパワーを正にすれば、光線高の大きい位置での光線を光軸側に大きく屈折させることができる。その結果、像面への光線入射角度を小さくすることが可能となる。

ゆえに、本発明の結像光学系では、前記最も像面側のレンズである第4レンズにおいて、次の条件式(1)を満足することが重要である。

$$-2.0 < \phi_m / \phi_p < 0 \quad (1)$$

但し、 ϕ_m は最大光線高の位置における第4レンズのパワー、 ϕ_p は近軸における第4レンズのパワーである。

ここで、最大光線高の位置におけるレンズのパワー ϕ_m を次のように定義するものとする。第4レンズの最大光線高 H_m に、物体側の無限遠方から平行光線を入射させ、レンズ通過後の傾き角を ε としたとき、 $\phi_m = \tan \varepsilon / H_m$ で与えられるものである。

条件式(1)の下限値を下回ると、近軸のパワーが弱くなりすぎて全長が長くなってしまう。もしくは、周辺の正パワーが大きくなりすぎ、著しく周辺性能が劣化してしまう。一方、条件式(1)の上限値を上回ると、第4レンズ周辺の正パワーが小さくなりすぎ、像面への光線入射角の補正が不十分となってしまう。

なお、好ましくは、本発明の結像光学系は、次の条件式(1')を満足するのが良い。

$$-1.0 < \phi_m / \phi_p < 0 \quad (1')$$

さらに、好ましくは、本発明の結像光学系は、次の条件式(1'')を満足するのが良い。

$$-0.5 < \phi_m / \phi_p < 0 \quad (1'')$$

さらに、本発明の結像光学系を構成するレンズとして、プラスチックレンズを用いる。このようにすると、ガラスで構成した場合に比べて生産性が飛躍的に向上する。また、レンズ有効径の外側において、レンズ保持部材を設ける。そして、レンズ同士を嵌合させるようにすると、組立時の工数を削減でき低コスト化の面で有利である。

また、本発明の結像光学系では、次の条件式(2)を満足することが、第1レンズ、第2レンズで発生した色収差を補正するために重要である。

$$15.0 < \nu_3 - \nu_4 < 40.0 \quad (2)$$

但し、 ν_3 は第3レンズのアッベ数、 ν_4 は第4レンズのアッベ数である。

条件式(2)の上限値を上回ると、第1レンズ、第2レンズで発生した色収差の補正が過剰となる。一方、条件式(2)の下限値を下回ると、第1レンズ、第2レンズで発生した色収差の補正が不足となる。

なお、好ましくは、本発明の結像光学系は、次の条件式(2')を満足するのが良い。

$$20.0 < \nu_3 - \nu_4 < 35.0 \quad (2')$$

さらに、好ましくは、本発明の結像光学系は、次の条件式(2'')を満足するのが良い。

$$24.0 < \nu_3 - \nu_4 < 29.0 \quad (2'')$$

光学系の全長を小さくするためには、光学系全系の主点位置を物体側寄りに配置させることが必要である。従って、第1レンズのパワーが重要となってくる。そのため、本発明の結像光学系は、次の条件式(3)を満足するのが好ましい。

$$0.1 < r_{1f} / f < 2.0 \quad (3)$$

但し、 r_{1f} は第1レンズの物体側の曲率半径、 f は光学系全系の焦点距離である。

条件式(3)の上限値を上回ると、第1面の曲率半径が緩くなり、正パワーの第1レンズの主点位置が像面側寄りになる。そうすると、全長を短縮するためには各レンズのパワーを強くしなければならず、性能を出すのが困難となる。

一方、条件式(3)の下限値を下回ると、全長短縮には有利である。ただし、第1面で発生する球面収差の補正が困難となる。

なお、好ましくは、本発明の結像光学系は、次の条件式(3')を満足するのが良い。

$$0.2 < r1f/f < 1.2 \quad (3')$$

さらに、好ましくは、次の条件式(3'')を満足するのが良い。

$$0.3 < r1f/f < 0.9 \quad (3'')$$

本発明の光学系は、全長を短縮するために、第1レンズと第2レンズと第3レンズの合成パワーと、第4レンズにおける負のパワーにより、テレフォトタイプの光学系となっている。そこで、次の条件式(4)、(5)を満足するのが好ましい。この条件を満足すると、このテレフォトタイプの正パワーと負パワーの配置に対して、結像光学系の全長短縮と性能確保とをバランスよく達成させることができる。

$$0.5 < f123/|f4| < 3.0 \quad (4)$$

$$1.0 < f/|f4| < 5.0 \quad (5)$$

但し、 $f123$ は第1レンズと第2レンズと第3レンズの合成焦点距離、 $f4$ は第4レンズの焦点距離、 f は光学系全系の焦点距離である。

条件式(4)、(5)を満足しないと、テレフォトタイプを構成する正のパワーと負のパワーとのバランスが崩れ、光学系の全長が増大し、或いは性能が劣化してしまう。

すなわち、条件式(4)、(5)の上限値を上回ると、テレフォトタイプを構成する負のパワーが弱くなるので、光学系の全長短縮に不利となる。一方、条件式(4)、(5)の下限値を下回ると、テレフォトタイプを構成する負のパワーが強くなりすぎ、それに伴い正のパワーも強くしなければならない。その結果、各レンズで発生する収差が増大となり、性能を確保するのが困難

となる。

なお、好ましくは、本発明の結像光学系は、次の条件式(4')、(5')を満足するのが良い。

$$0.7 < f_{123} / |f_4| < 2.0 \quad (4')$$

$$1.2 < f / |f_4| < 4.0 \quad (5')$$

さらに、好ましくは、本発明の結像光学系は、次の条件式(4'')、(5'')を満足するのが良い。

$$0.9 < f_{123} / |f_4| < 1.6 \quad (4'')$$

$$1.5 < f / |f_4| < 3.0 \quad (5'')$$

本発明の結像光学系では、明るさ絞りを挟んで、第1レンズと、第2、3、4レンズとが配置されている。ここで、倍率色収差やディストーションを小さくするためには、軸外光線が明るさ絞りの中心位置に対して点対称に通ることが重要となる。

そのため、本発明の結像光学系は、次の条件式(6)を満足するのが好ましい。

$$0 < f_1 / f_{234} < 3.0 \quad (6)$$

但し、 f_1 は第1レンズの焦点距離、 f_{234} は第2レンズと第3レンズと第4レンズの合成焦点距離である。

条件式(6)の上限値を上回るか、或いは下限値を下回ると、倍率色収差やディストーションが補正過剰、もしくは補正不足になってしまう。その結果、いずれの場合も周辺性能が悪化する。

なお、好ましくは、本発明の結像光学系は、次の条件式(6')を満足するのが良い。

$$0.2 < f_1 / f_{234} < 1.0 \quad (6')$$

さらに、好ましくは、本発明の結像光学系は、次の条件式(6'')を満足するのが良い。

$$0.4 < f_1 / f_{234} < 0.7 \quad (6'')$$

ところで、撮像素子にCCDを用いる場合、いわゆるシェーディングという現象がおきてしまう。これは、光学系から射出された軸外光束が像面

に対してあまりに大きな角度で入射すると、画像中央部と画像周辺部で画像の明るさが変化してしまう現象である。一方、像面に対して小さい角度で入射させると、上記シェーディングの問題は軽減されるが、光学系の全長が大きくなってしまう。

そのため、本発明の結像光学系は、次の条件式(7)を満足するのが好ましい。

$$0.4 < EXP / f < 2.0 \quad (7)$$

但し、EXPは像面からの射出瞳までの距離、fは結像光学系全系の焦点距離である。

条件式(7)の上限値を上回ると、結像光学系の全長が大きくなってしまう。一方、条件式(8)の下限値を下回ると、CCDへの入射角が大きくなりすぎ画像周辺部の明るさが低下してしまう。

なお、好ましくは、本発明の結像光学系は、次の条件式(7')を満足するのが良い。

$$0.6 < EXP / f < 1.5 \quad (7')$$

さらに、好ましくは、本発明の結像光学系は、次の条件式(7'')を満足するのが良い。

$$0.8 < EXP / f < 1.3 \quad (7'')$$

また、結像光学系の開放FナンバーをFno、撮像素子の画素間隔をPとするとき、次の条件式を満足するのがよい。

$$0.40 [1 / \mu m] < Fno / P [\mu m] < 2.20 [1 / \mu m]$$

この条件式の上限を上回ると、光学系が暗くなり過ぎるか、画素間隔が小さくなり過ぎることにより、1画素当たりの光量が少なくなってしまう。従って、シャッター速度が遅くなり、手振れを引き起こしたり、長時間露光によりノイズが増加する原因となる。他方、下限を下回ると、画素間隔が大きくなり過ぎ、高画素な撮像データが得られなくなる。

なお、次の条件式を満たすのが、より良い。

$$0.55 [1 / \mu m] < Fno / P [\mu m] < 1.50 [1 / \mu m]$$

なお、次の条件式を満たすのが、更に良い。

$$0.77[1/\mu\text{m}] < F_{\text{no}}/P[\mu\text{m}] < 1.18[1/\mu\text{m}]$$

また、結像光学系の全長をTL、プラスチックレンズにおける最小軸上肉厚をMLとしたとき、次の条件式を満足するのが良い。

$$0.02 < ML/TL < 0.20$$

この条件式の上限を上回ると、全長に対して、プラスチックレンズにおける最小軸上肉厚が大き過ぎるために、ガラスレンズの中心肉厚が十分に確保できず、ガラスレンズの加工性が悪化してしまう。他方、下限を下回ると、プラスチックレンズにおける最小軸上肉厚が小さ過ぎることから、成型時にプラスチック樹脂が成型型にスムーズに入り込めず、応力がかかって複屈折の原因になったり、成型に時間がかかり、生産性が悪化してしまう。

なお、次の条件式を満たすのが、より良い。

$$0.04 < ML/TL < 1.16$$

なお、次の条件式を満たすのが、更に良い。

$$0.06 < ML/TL < 0.10$$

以下、本発明の実施例を図面を用いて説明する。

第1実施例

図1は本発明の結像光学系の第1実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図、図2A、2B及び2Cは、第1実施例にかかる結像光学系の球面収差、非点収差及び歪曲収差をそれぞれ示す図である。

第1実施例の結像光学系は、物体側から順に、正メニスカスレンズL1と、明るさ絞りSと、負メニスカスレンズL2と、正メニスカスレンズL3と、負レンズL4とで構成されている。図中、Iは撮像素子の撮像面である。

、正メニスカスレンズL1は、第1レンズである。この正メニスカスレンズL1は、物体側に凸面を向けている。負メニスカスレンズL2は、第2レンズである。この負メニスカスレンズL2は、像側に凸面を向けている。正メニスカスレンズL3は、第3レンズである。この正メニスカスレンズL3は、像側に凸面を向けている。負レンズL4は、第4レンズであ

る。

また、非球面は、負メニスカスレンズL2の物体側の面、正メニスカスレンズL3の像側の面、負レンズL4の像側の面に、それぞれ設けられている。また、第4レンズの非球面は、レンズの中心のパワーが負で周辺のパワーが正である。

次に、第1実施例の結像光学系を構成する光学部材の数値データを示す。

第1実施例では、全てのレンズがプラスチックで構成されている。用いているプラスチックは、第1レンズと第3レンズはポリオレフィン系のゼオネックス、第2レンズと第4レンズはポリカーボネートである。

また、結像光学系の像面には、1/3インチ、300万画素（画素間隔 $P = 2.4 \mu m$ ）の撮像素子が配置されている。

なお、第1実施例の数値データにおいて、屈折率、アッペ数はe線におけるものである。

また、非球面形状は、光軸方向をz、光軸に直交する方向をyにとり、円錐係数をk、非球面係数をa、b、c、・・・としたとき、次の式で表される。

$$z = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + k)(y / r)^2\}^{1/2}] \\ + a y^4 + b y^6 + c y^8 + \dots$$

これらは、以下の各実施例においても共通に用いられている。

数値データ 1

焦点距離：4.6 mm、Fno（開放Fナンバー）：2.8、像高：3.0 mm、

半画角：33°

面番号	曲率半径	面（又は空気）間隔	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞		
1	2.95	0.87	1.5091	56.2
2	233.13	0.10		
3	絞り面	1.00		
4	非球面[1]	0.60	1.5839	30.2

5	-4.14	0.10		
6	-5.47	1.41	1.5091	56.2
7	非球面[2]	0.10		
8	9.20	0.70	1.5839	30.2
9	非球面[3]	0.63		
10	∞	1.50		
像面	∞			

非球面[1]

曲率半径 -2.27

$$k = 5.8166 \times 10^{-1}$$

$$a = -2.9072 \times 10^{-2} \quad b = 3.2484 \times 10^{-2} \quad c = -3.8009 \times 10^{-3}$$

非球面[2]

曲率半径 -0.97

$$k = -2.9953 \times 10^{+0}$$

$$a = -4.7166 \times 10^{-2} \quad b = 1.0868 \times 10^{-2}$$

非球面[3]

曲率半径 1.31

$$k = -7.6191 \times 10^{+0}$$

$$a = -6.7292 \times 10^{-3}$$

第2実施例

図3は本発明の結像光学系の第2実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図、図4A、4B及び4Cは第2実施例にかかる結像光学系の球面収差、非点収差及び歪曲収差をそれぞれ示す図である。

第2実施例の結像光学系は、物体側から順に、正メニスカスレンズL1と、明るさ絞りSと、負メニスカスレンズL2と、正メニスカスレンズL3と、負レンズL4とで構成されている。図中、Iは撮像素子の撮像面である。

正メニスカスレンズL1は、第1レンズである。この正メニスカスレン

ズL 1 は、物体側に凸面を向けている。負メニスカスレンズL 2 は、第 2 レンズである。この負メニスカスレンズL 2 は、像側に凸面を向けている。正メニスカスレンズL 3 は、第 3 レンズである。この正メニスカスレンズL 3 は、像側に凸面を向けている。負レンズL 4 は、第 4 レンズである。

また、非球面は、負メニスカスレンズL 2 の物体側の面、正メニスカスレンズL 3 の像側の面、負レンズL 4 の像側の面に、それぞれ設けられている。また、第 4 レンズL 4 の非球面は、レンズの中心のパワーが負で周辺のパワーが正である。

次に、第 2 実施例の結像光学系を構成する光学部材の数値データを示す。

第 2 実施例では、第 1 レンズがガラス、第 2 レンズと第 3 レンズと第 4 レンズがプラスチックで構成されている。用いているプラスチックは、第 3 レンズはポリオレフィン系のゼオネックス、第 2 レンズと第 4 レンズはポリカーボネートである。

また、結像光学系の像面には、1 / 3 インチ、2 0 0 万画素（画素間隔 $P = 3.0 \mu m$ ）の撮像素子が配置されている。

数値データ 2

焦点距離：4.6 mm、F no（開放 F ナンバー）：2.8、像高：3.0 mm、

半画角：33°

面番号	曲率半径	面（又は空気）間隔	屈折率	アッベ数
物体面	∞	∞		
1	3.78	0.78	1.7433	49.2
2	25.69	0.11		
3	絞り面	0.98		
4	非球面 [1]	0.60	1.5839	30.2
5	-13.16	0.08		
6	-19.41	1.50	1.5091	56.2
7	非球面 [2]	0.10		
8	10.28	0.80	1.5839	30.2

9	非球面 [3]	0.56
10	∞	1.50
像面	∞	

非球面 [1]

曲率半径 -2.77

$$k = 7.8076 \times 10^{-1}$$

$$a = -2.1697 \times 10^{-2} \quad b = 2.7786 \times 10^{-2} \quad c = -3.9258 \times 10^{-3}$$

非球面 [2]

曲率半径 -1.05

$$k = -3.0607 \times 10^{+0}$$

$$a = -4.1942 \times 10^{-2} \quad b = 1.0402 \times 10^{-2}$$

非球面 [3]

曲率半径 1.43

$$k = -8.0802 \times 10^{+0}$$

$$a = -7.3101 \times 10^{-3}$$

第3実施例

図5は本発明の結像光学系の第3実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図、図6A、6B及び6Cは第3実施例にかかる結像光学系の球面収差、非点収差及び歪曲収差をそれぞれ示す図である。

第3実施例の結像光学系は、物体側から順に、正メニスカスレンズL1'と、明るさ絞りSと、両面が非球面の正メニスカスレンズL2'と、正メニスカスレンズL3'と、負レンズL4'とで構成されている。図中、Iは撮像素子の撮像面である。

正メニスカスレンズL1'は、第1レンズである。この正メニスカスレンズL1'は、物体側に凸面を向けている。正メニスカスレンズL2'は、第2レンズである。この正メニスカスレンズL2'は、像側に凸面を向けている。正メニスカスレンズL3'は、第3レンズである。この正メニスカスレンズL3'は、像側に凸面を向けている。負レンズL4'は、第4レンズである。

また、非球面は、正メニスカスレンズL 1'の両面、負メニスカスレンズL 2'の両面、正メニスカスレンズL 3'の両面、負レンズL 4'の両面に、それぞれ設けられている。また、第4レンズL 4'の非球面は、レンズの中心のパワーが負で周辺のパワーが正である。

次に、第3実施例の結像光学系を構成する光学部材の数値データを示す。

第3実施例では、全てのレンズがプラスチックで構成されている。用いているプラスチックは、第1レンズと第2レンズと第3レンズはポリオレフィン系のゼオネックス、第4レンズはポリカーボネートである。

また、結像光学系の像面には、1 / 3 インチ、1 3 0 万画素（画素間隔 $P = 3.6 \mu m$ ）の撮像素子が配置されている。

数値データ 3

焦点距離：4.7 mm、F no（開放Fナンバー）：2.8、像高：3.0 mm、

半画角：33°

面番号	曲率半径	面（又は空気）間隔	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞		
1	非球面[1]	1.22	1.5091	56.2
2	非球面[2]	0.10		
3	絞り面	0.63		
4	非球面[3]	1.18	1.5091	56.2
5	非球面[4]	0.05		
6	非球面[5]	1.46	1.5091	56.2
7	非球面[6]	0.10		
8	非球面[7]	0.50	1.5839	30.2
9	非球面[8]	0.44		
10	∞	1.32		
像面	∞			

非球面[1]

曲率半径 1.90

$$k = -3.7539 \times 10^{-1}$$

$$a = 1.2801 \times 10^{-2} \quad b = 6.8695 \times 10^{-3}$$

非球面[2]

$$\text{曲率半径} \quad 5.28$$

$$k = 1.5098 \times 10^{+1}$$

$$a = -3.2940 \times 10^{-3} \quad b = -2.5345 \times 10^{-2}$$

非球面[3]

$$\text{曲率半径} \quad -1.51$$

$$k = 1.3544 \times 10^{+0}$$

$$a = -2.1703 \times 10^{-2} \quad b = -6.3127 \times 10^{-3} \quad c = -8.1155 \times 10^{-3}$$

非球面[4]

$$\text{曲率半径} \quad -1.49$$

$$k = -1.2296 \times 10^{+0}$$

$$a = -3.3113 \times 10^{-3} \quad b = -1.1439 \times 10^{-2}$$

非球面[5]

$$\text{曲率半径} \quad -4.39$$

$$k = 1.9660 \times 10^{+0}$$

$$a = 9.3712 \times 10^{-3} \quad b = 2.7884 \times 10^{-3}$$

非球面[6]

$$\text{曲率半径} \quad -1.13$$

$$k = -4.0965 \times 10^{+0}$$

$$a = -3.0803 \times 10^{-2} \quad b = 5.7752 \times 10^{-3}$$

非球面[7]

$$\text{曲率半径} \quad 143.88$$

$$k = -3.5486 \times 10^{+19}$$

$$a = -1.7624 \times 10^{-3} \quad b = 1.5002 \times 10^{-4}$$

非球面[8]

$$\text{曲率半径} \quad 1.42$$

$$k = -9.6398 \times 10^{+0}$$

$$a = -9.4524 \times 10^{-3} \quad b = 7.8945 \times 10^{-5}$$

第 4 実施例

図 7 は本発明の結像光学系の第 4 実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図、図 8 A、8 B 及び 8 C は第 4 実施例にかかる結像光学系の球面収差、非点収差及び歪曲収差をそれぞれ示す図である。

第 4 実施例の結像光学系は、物体側から順に、正メニスカスレンズ L 1' と、明るさ絞り S と、正メニスカスレンズ L 2' と、正メニスカスレンズ L 3' と、負レンズ L 4' とで構成されている。図中、I は撮像素子の撮像面である。

正メニスカスレンズ L 1' は、第 1 レンズである。この正メニスカスレンズ L 1' は、物体側に凸面を向けている。正メニスカスレンズ L 2' は、第 2 レンズである。この正メニスカスレンズ L 2' は、像側に凸面を向けている。正メニスカスレンズ L 3' は、第 3 レンズである。この正メニスカスレンズ L 3' は、像側に凸面を向けている。負レンズ L 4' は、第 4 レンズである。

また、非球面は、負メニスカスレンズ L 2' の両面、正メニスカスレンズ L 3' の両面、負レンズ L 4' の両面に、それぞれ設けられている。また、第 4 レンズ L 4' の非球面は、レンズの中心のパワーが負で周辺のパワーが正である。

次に、第 4 実施例の結像光学系を構成する光学部材の数値データを示す。

第 4 実施例では、第 1 レンズがガラス、第 2 レンズと第 3 レンズと第 4 レンズがプラスチックで構成されている。用いているプラスチックは、第 3 レンズはポリオレフィン系のゼオネックス、第 2 レンズと第 4 レンズはポリカーボネートである。

また、結像光学系の像面には、1 / 3 インチ、130 万画素（画素間隔 $P = 3.6 \mu\text{m}$ ）の撮像素子が配置されている。

数値データ 4

焦点距離：4.6 mm、F no（開放 F ナンバー）：2.8、像高：3.0 mm、

半面角：33°

面番号	曲率半径	面（又は空気）間隔	屈折率	アッベ数
物体面	∞	∞		
1	3.80	0.91	1.8061	40.9
2	14.15	0.21		
3	絞り面	1.14		
4	非球面[1]	0.95	1.5091	56.2
5	非球面[2]	0.05		
6	非球面[3]	1.58	1.5091	56.2
7	非球面[4]	0.20		
8	非球面[5]	0.50	1.5839	30.2
9	非球面[6]	0.61		
10	∞	0.88		
像面	∞			

非球面[1]

曲率半径 -2.61

$$k = -6.9628 \times 10^{-1}$$

$$a = -2.0780 \times 10^{-2} \quad b = -2.1734 \times 10^{-2} \quad c = 1.0103 \times 10^{-2}$$

非球面[2]

曲率半径 -2.10

$$k = -1.6740 \times 10^{+0}$$

$$a = 1.7428 \times 10^{-2} \quad b = -6.4850 \times 10^{-3}$$

非球面[3]

曲率半径 -4.06

$$k = 2.2608 \times 10^{+0}$$

$$a = 3.0315 \times 10^{-2} \quad b = -1.4105 \times 10^{-3}$$

非球面[4]

曲率半径 -0.88

$$k = -3.4614 \times 10^{+0}$$

$$a = -2.8465 \times 10^{-2} \quad b = 5.5681 \times 10^{-3}$$

非球面 [5]

曲率半径 62.03

$$k = -3.5486 \times 10^{-19}$$

$$a = -4.2958 \times 10^{-3} \quad b = 4.5975 \times 10^{-4}$$

非球面 [6]

曲率半径 0.91

$$k = -6.3059 \times 10^{-0}$$

$$a = -1.3126 \times 10^{-2} \quad b = 4.0147 \times 10^{-4}$$

なお、本発明の上記各実施例では少なくとも一部レンズをプラスチックで構成したが、プラスチックレンズをガラスレンズで構成してもかまわない。また、例えば、上記各実施例で用いる材料よりも屈折率の高いガラスを用いれば、さらに高性能な光学系にすることが可能である。また、特殊低分散ガラスを用いれば色収差の補正にとって有効である。また、レンズをプラスチックで構成する場合には、低吸湿材料を用いることにより、環境変化による性能の劣化を軽減し得る。

また、上記各実施例において、ゴースト、フレア等の不要光をカットするために、明るさ絞り以外にフレア絞りを配置しても良い。フレア絞りは、上記各実施例の第1レンズの前、第1レンズと明るさ絞りとの間、明るさ絞りと第2レンズとの間、第2レンズと第3レンズとの間、第3レンズと第4レンズとの間、第4レンズと像面との間のいずれの場所に配置しても良い。

このフレア絞りとしての作用を持たせるためには、枠によりフレア光線をカットする方法を採用しても良いし、別の部材を設けることによって、フレア光線をカットする方法を採用してもよい。または、フレア絞りを光学系に直接印刷したり、塗装したり、シールなどを接着することにより構成しても良い。

また、フレア絞りの形状は、円形、楕円形、矩形、多角形、関数曲線で囲まれる範囲等、いかなる形状でもかまわない。

また、フレア絞りを設けることによって、有害光束をカットするだけでなく画面周辺のコマフレア等の光束をカットするようにしても良い。

また、各レンズに反射防止コートを行い、ゴースト、フレアを軽減するようにしてもかまわない。その場合、マルチコートにすると効果的にゴースト、フレアを軽減できる。また、レンズ面やカバーガラスなどに、赤外カットコートを行っても良い。

また、本発明の上記各実施例の結像光学系において、ピント調節を行うためにフォーカシングを行うように構成しても良い。フォーカシング方法としては、レンズ系全体の繰り出し、一部レンズの繰り出し、もしくは繰り込みのいずれを採用してもよい。

また、本発明の上記各実施例の結像光学系において、画像周辺部の明るさ低下を、CCDのマイクロレンズをシフトすることにより軽減しても良い。例えば、各像高における光線の入射角に合わせてCCDのマイクロレンズの設計を変えても良い。また画像処理により画像周辺部の低下量を補正しても良い。

また、本発明の光学系は、フィルムやCCDを記録部材とするカメラ、あるいは携帯電話、携帯型情報入力端末等の光学装置に適している。よって、上記の光学系を備えた光学装置も、本発明として含まれる。

図9A及び9Bは、撮像光学系に本発明の結像光学系を含んだデジタルカメラの一例の外観を示す前側斜視図及び後側斜視図である。図において、1は撮影光路2を有する撮影光学系、3はファインダー用光路4を有するファインダー光学系、5はシャッター釦、6はフラッシュ、7は液晶表示モニターである。また、カメラの上部に配置されたシャッター釦5を押すと、それに連動して撮影光学系1を通して撮影が行なわれるようになっている。

図10A及び10Bは、撮像光学系に本発明の結像光学系を含んだ携帯電話の一例の正面図及び側面図である。図中、10はマイク部、11はスピーカ部、12は入力ダイヤル、13はモニター、14は撮影光学系、15は通信電波の送信と受信を行なうアンテナである。マイク部10は操作者

の声を情報として入力し、スピーカ部 11 は通話相手の声を出力する。入力ダイヤル 12 は操作者が情報を入力するのに用いられ、モニター 13 は操作者自身や通話相手等の撮影像と電話番号等の情報を表示する。アンテナ 15 は通信電波の送信と受信を行なう。

撮影光学系 14 は、撮影光路 16 上に配置された本発明の結像光学系と、像を受光する撮像素子とを有し、これらは携帯電話本体に内蔵されている。撮像素子の前面には赤外線カットフィルターが設けられ、また、撮影光学系 14 の先端には該光学系を保護するためのカバーガラスが配置されている。撮像素子で受光された物体像は、携帯電話に内蔵された図示しない処理手段に入力され、電子画像としてモニター 13 に、または、通信相手のモニターに、または、その両方に表示される。また、通信相手に画像を送信する場合には、上記処理手段に含まれる信号処理機能により、撮像素子で受光された物体像の情報が送信可能な信号へ変換されるようになっている。

次に、上記各実施例における条件式パラメータ計算値を下記表 1 に示す。

表 1

	第 1 実施例	第 2 実施例	第 3 実施例	第 4 実施例
$\phi m / \phi p$	-0.11	-0.11	-0.05	-0.05
$\nu 3 - \nu 4$	26.0	26.0	26.0	26.0
$r1f/f$	0.64	0.82	0.40	0.82
$f123/ f4 $	0.97	0.94	1.12	1.52
$f/ f4 $	1.72	1.57	1.92	2.94
$f/f234$	0.60	0.57	0.51	0.47
EXP/f	1.20	1.18	1.07	0.92
$Fno/P [\mu m]$	1.17	0.93	0.78	0.78
ML/TL	0.09	0.09	0.07	0.07

WHAT IS CLAIMED IS:

1. 物体側から順に、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズである第1レンズと、明るさ絞りと、像側に凸面を向けたメニスカスレンズである第2レンズと、像側に凸面を向けた正メニスカスレンズである第3レンズと、負レンズである第4レンズを配置して構成した結像光学系。

2. 前記第4レンズの少なくとも1面が非球面であり、次の条件式を満足する請求項1に記載の結像光学系。

$$-2.0 < \phi_m / \phi_p < 0$$

但し、 ϕ_m は最大光線高の位置における第4レンズのパワー、 ϕ_p は近軸における第4レンズのパワーである。ここで、最大光線高の位置におけるレンズのパワー ϕ_m を次のように定義するものとする。前記第4レンズの最大光線高 H_m に、物体側の無限遠方から平行光線を入射させ、レンズ通過後の傾き角を ξ としたとき、 $\phi_m = \tan \xi \cdot H_m$ で与えられるものである。

3. 前記第3レンズと前記第4レンズがプラスチックで構成され、次の条件式を満足する請求項1に記載の結像光学系。

$$15.0 < \nu_3 - \nu_4 < 40.0$$

但し、 ν_3 は第3レンズのアッベ数、 ν_4 は第4レンズのアッベ数である。

4. 次の条件式を満足する請求項1に記載の結像光学系。

$$0.1 < r_{1f} / f < 2.0$$

但し、 r_{1f} は第1レンズの物体側の曲率半径、 f は光学系全系の焦点距離である。

5. 次の条件式を満足する請求項1に記載の結像光学系。

$$0.5 < f_{123} / |f_4| < 3.0$$

$$1.0 < f / |f_4| < 5.0$$

但し、 f_{123} は第 1 レンズと第 2 レンズと第 3 レンズの合成焦点距離、 f_4 は第 4 レンズの焦点距離、 f は光学系全系の焦点距離である。

6. 次の条件式を満足する請求項 1 に記載の結像光学系。

$$0 < f_1 / f_{234} < 3.0$$

但し、 f_1 は第 1 レンズの焦点距離、 f_{234} は第 2 レンズと第 3 レンズと第 4 レンズの合成焦点距離である。

7. 次の条件式を満足する請求項 1 に記載の結像光学系。

$$0.4 < EXP / f < 2.0$$

但し、 EXP は像面から射出瞳までの距離、 f は結像光学系全系の焦点距離である。

8. 前記結像光学系の開放 F ナンバーを F_{no} 、前記第 4 レンズの像側に配置された撮像素子の画素間隔を P とするとき、次の条件式を満足する請求項 1 に記載の結像光学系。

$$0.40 [1 / \mu m] < F_{no} / P [\mu m] < 2.20 [1 / \mu m]$$

9. 前記結像光学系の全長を TL 、前記結像光学系を構成するプラスチックレンズの最小軸上肉厚を ML としたとき、次の条件式を満足する請求項 1 に記載の結像光学系。

$$0.45 < ML / TL < 0.100$$

10. 請求項 1 に記載の結像光学系を備えた電子機器。

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

本発明の結像光学系は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズである第1レンズと、明るさ絞りSと、像側に凸面を向けたメニスカスレンズである第2レンズと、像側に凸面を向けた正メニスカスレンズである第3レンズと、負レンズである第4レンズを配置して構成されている。第4レンズは少なくとも1面が非球面であり、次の条件式を満足する。

$$-2.0 < \phi m / \phi p < 0$$

但し、 ϕm は最大光線高の位置における第4レンズのパワー、 ϕp は近軸における第4レンズのパワーである。

第3レンズと第4レンズはプラスチックで構成され、次の条件式を満足する。

$$15.0 < \nu 3 - \nu 4 < 40.0$$

但し、 $\nu 3$ は第3レンズのアッベ数、 $\nu 4$ は第4レンズのアッベ数である。